

Estruturação de um Sistema de Gestão de Pavimentos para uma Rede Rodoviária de Carácter Nacional

Luís Picado-Santos¹, Adelino Ferreira²

*Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil
Pólo 2, 3030-788 Coimbra, Portugal*

Paulo A. A. Pereira³

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil
Azurém, P – 4800-058 Guimarães, Portugal*

RESUMO

No início de 2003, a Administração Portuguesa (Estradas de Portugal, EP, Entidade Pública Empresarial) decidiu desenvolver um novo sistema de gestão de pavimentos (SGP) para a rede rodoviária (cerca de 13000 km de extensão) sob sua administração. O sistema tem estado a ser desenvolvido por elementos da administração e também de universidades portuguesas.

Este artigo descreve, do ponto de vista da participação das equipas do DEC-FCT da Universidade de Coimbra e do DEC-EE da Universidade do Minho, o processo que levou ao desenvolvimento do SGP e as actividades que vão permitir a sua implementação. Durante este período foi preparada sob a responsabilidade do Instituto Superior Técnico (IST) a «Base de Dados Rodoviária» (BDR) que está habilitada a ser explorada por um Sistema de Informação Geográfica (SIG), foi preparado sob a responsabilidade do DEC-FCT da Universidade de Coimbra e do DEC-EE da Universidade do Minho o «Sistema de Avaliação da Qualidade» (SAQ) para apreciação do estado actual resultante dum levantamento da situação entretanto efectuado, e foi preparado sob a responsabilidade do DEC-FCT da Universidade de Coimbra o «Sistema de Avaliação das Estratégias de Aplicação dos Recursos Financeiros» (SARE), o qual compreende um sistema especializado de apoio à decisão, que usa um modelo de optimização que tem como objectivo a minimização dos custos e utiliza modelos determinísticos de previsão do comportamento dos pavimentos.

Este artigo apresenta as principais características dos instrumentos desenvolvidos para integrar o SGP e apresenta os resultados da aplicação a uma parte da rede rodoviária de Portugal, considerados no âmbito dum estudo âncora, o qual conduziu às decisões finais. Finalmente, apresenta-se a forma como se pretende colocar o sistema ao serviço da Administração Portuguesa.

¹ Professor Associado com Agregação

² Professor Auxiliar

³ Professor Catedrático

INTRODUÇÃO

Em Abril de 2003, a Administração Portuguesa (Estradas de Portugal, EP, Entidade Pública Empresarial) decidiu desenvolver um novo sistema de gestão de pavimentos (SGP) para a rede rodoviária (cerca de 13000 km de extensão) sob sua administração. O sistema tem estado a ser desenvolvido por elementos da administração e também dos Departamentos de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra e da Universidade Técnica de Lisboa. Espera-se que esteja pronto a ser usado por todas as unidades da administração no início de 2006.

Na Figura 1 pode ser vista a estrutura usada na concepção do SGP. Nos primeiros dois anos e meio, os três módulos estruturantes («Base de Dados Rodoviária», «Avaliação da Qualidade» e «Avaliação das Estratégias») foram desenvolvidos e aplicados à rede da EP.

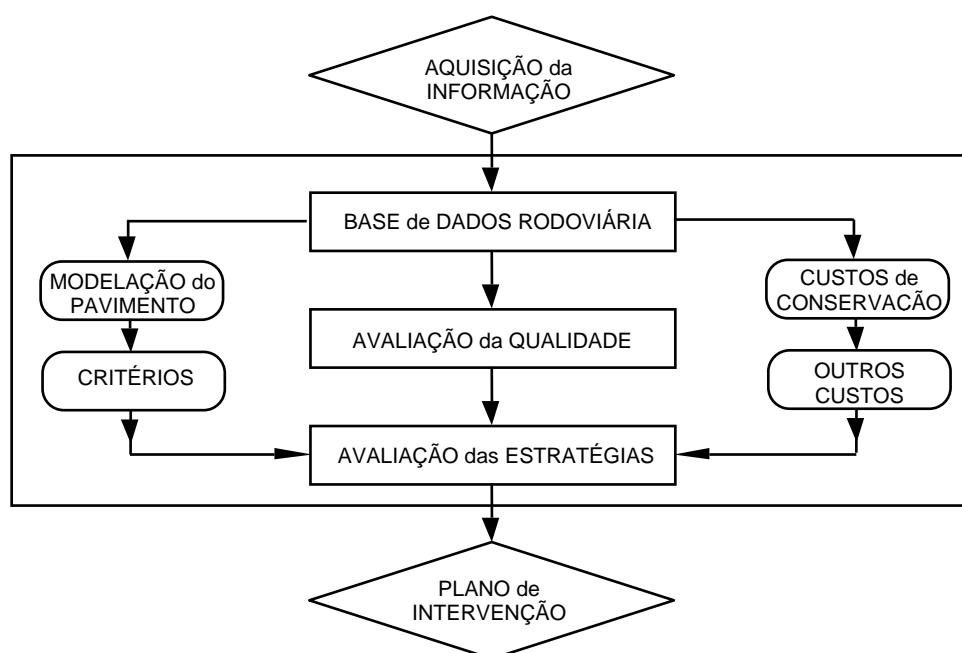


Figura 1 – Estrutura geral do sistema de gestão de pavimentos da EP

Neste artigo, depois duma referência à organização da «Base de Dados Rodoviária», vai apresentar-se os princípios que presidiram à concepção e organização dos módulos de «Avaliação da Qualidade» e de «Avaliação das Estratégias», essencialmente estruturados com base em aplicações anteriores (Picado-Santos *et al.*, 2004a).

1. BASE DE DADOS RODOVIÁRIA

1.1. Estrutura e organização

A estrutura principal da «Base de Dados Rodoviária» foi configurada (Picado-Santos, 2003, Picado-Santos *et al.*, 2003) de acordo com a tradição de planeamento e a necessidade de informação da administração no que respeita à avaliação da qualidade dos pavimentos e a aplicação dos instrumentos que permitirão usar o módulo «Avaliação das Estratégias».

Assim, a «Base de Dados Rodoviária» contém as características relevantes dos pavimentos, obtidas através duma inspeção exclusivamente visual (instrumento

“VIZIROAD”, R&L 1999) nesta primeira fase, usadas para obter um índice global de qualidade através do módulo «Avaliação da Qualidade».

Também contém toda a informação necessária para usar o módulo «Avaliação das Estratégias», o qual contém instrumentos que permitem minimizar os custos de fazer a conservação para um determinado período de planeamento, enquanto mantém a rede com características acima dum determinado nível de qualidade. Assim, para além das características dos pavimentos, a «Base de Dados Rodoviária» inclui dados como a geometria do perfil transversal (largura de vias e bermas), a história dos pavimentos (tipo de estrutura e fundação, composição da estrutura e fundação, acções de conservação efectuadas), o tráfego, o tipo de intervenções de conservação e respectivos custos e outra informação complementar sobretudo relacionada com a utilização de modelos determinísticos de previsão da evolução da degradação nos pavimentos.

Para visualizar toda a informação contida na «Base de Dados Rodoviária», aquela que resulta de levantamento da situação mas também aquela que é resultado do módulo «Avaliação das Estratégias», é usado um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Este sistema permite que a base de dados seja analisada, informada e que informe sobre qualquer dos recursos ou informação registada em cada elemento da rede em gestão.

Nas secções seguintes dá-se uma visão da base de dados e das suas características relevantes.

1.2. Modelo da rede

O modelo da rede é uma estrutura vectorial secção-nó, cujas componentes são geo-referenciadas e solidárias. É possível dizer, de acordo com as decisões de formatação efectuadas, que o modelo da rede foi basicamente estabelecido usando uma de duas opções: escolher dois nós da rede e ligá-los com secções; estabelecer a secção e definir os nós como o final de cada uma. Os nós ainda podem ser de nível superior, por exemplo quando são definidos como o cruzamento de duas ou mais secções. Os atributos (por exemplo, estado do pavimento) estão relacionados com as secções e podem variar ao longo duma secção.

1.3. Levantamento da informação relativa ao pavimento

Todas as actividades de levantamento do estado actual dos pavimentos da rede foram organizadas com seis equipas da EP, cada uma a responsabilizar-se por três distritos e cerca de 2200 km de extensão da rede.

O VIZIROAD, que foi instalado em seis veículos ligeiros, é basicamente um sistema de aquisição de dados, baseado num software específico suportado por um computador portátil. As distâncias são obtidas através de LVDTs instalados em cada veículo e lidos pelo software. As degradações observadas são introduzidas através de dois teclados (Figura 2) que são manipulados por dois membros de cada equipa, um por teclado.

Os teclados foram formatados para todas as necessidades de levantamento previamente definidas. O software para além do reconhecimento das introduções efectuadas, automáticas ou através dos teclados, trata da informação duma forma que depois serve a sua colocação na «Base de Dados Rodoviária».

Antes do período de levantamento, promoveu-se a formação técnica e científica das equipas de levantamento. Esta formação iniciou-se com um curso curto (três dias) que versou a mecânica de pavimentos e sistemas de gestão de pavimentos. Também houve um período dedicado à utilização do VIZIROAD, envolvendo simulações em computador e utilização numa secção real, também utilizada como secção de referência, para controle da qualidade de levantamento.

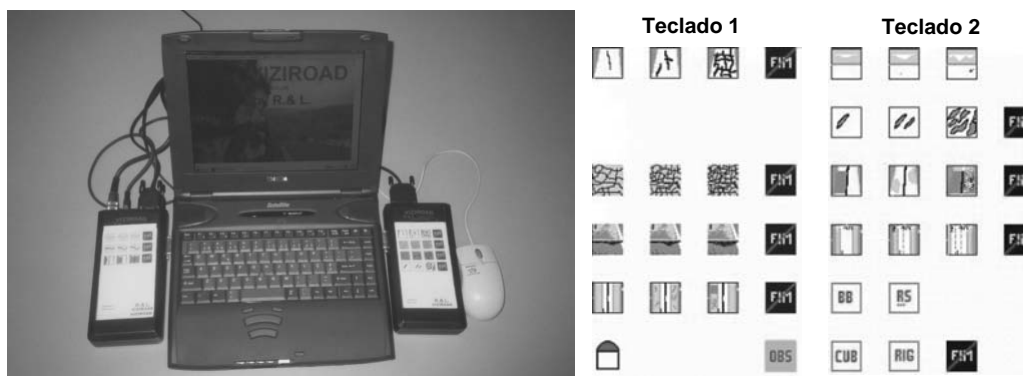


Figura 2 – Equipamento VIZIROAD

A observação do estado superficial dos pavimentos realizada por diferentes equipas de operadores é sempre passível de alguma heterogeneidade nos resultados obtidos. De modo a reduzir essa heterogeneidade dos dados recolhidos pelas equipas, para não desvirtuar a qualidade técnica do levantamento em si e para não qualificar de forma desigual as zonas de intervenção de cada equipa, estabeleceu-se uma metodologia de minimização do problema que conduziu à definição dum factor de correcção para cada equipa.

Ainda por razões de verificação da qualidade geral do levantamento, expresso em termos de IQ, questionaram-se os responsáveis pelas Direcções de Estradas de cada distrito, que têm a seu cargo a gestão da conservação no terreno, a sua opinião sobre o conforto de cada trecho, expressando-o em três classes, “Bom”, “Médio” e “Mau”. Ainda que de forma qualitativa, isto permitiu detectar desvios inaceitáveis na classificação (em termos de IQ) resultante do levantamento e que por via desta identificação terão de ser corrigidos, repetindo o levantamento.

1.4. Configuração do registo da informação

A base de dados relacional é implementada num servidor Oracle (Oracle, 2005) destinado para o efeito. Este servidor tem de fazer parte de uma intranet e/ou ser acessível por internet para possibilitar a criação de aplicações clientes multiposto que acedem aos dados. Foi desenvolvida uma interface que facilita o acesso dos utilizadores à edição de dados e que facilita a obtenção de relatórios com informação relevante para a EP.

2. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE

A metodologia de avaliação da qualidade dos pavimentos baseia-se numa análise global da qualidade do pavimento (Picado-Santos *et al.*, 2004a; Picado-Santos *et al.*, 2004b), a qual permite a determinação de um índice de qualidade global.

Este índice, no caso dos pavimentos flexíveis que representam 99% da rede, caracteriza o estado dos pavimentos em função das informações obtidas no levantamento visual já mencionado, a respeito das degradações superficiais (fendilhamento, pele de crocodilo, covas, peladas, reparações), irregularidade longitudinal e rodeiras.

O índice de qualidade (IQ) que se propõe para efectuar a avaliação da qualidade baseia-se no valor de PSI (Present Serviceability Index), desenvolvido com base na informação obtida no ensaio AASHO (HRB, 1962) e adoptado pelo Sistema de Gestão de Pavimentos (SGP) do Estado do Nevada (Sebaaly *et al.*, 1996). A Equação (1) traduz o IQ no ano t , tendo-se adoptado uma diminuição explícita do peso do IRI em um terço devido à forma indirecta como é obtido.

$$IQ_t = 5 \times e^{-0,0002598 \times IRI_t / 2,0} - 0,002139 \times R_t^2 - 0,03 \times (C_t + S_t + P_t)^{0,5} \quad (1)$$

Nesta equação:

IRI_t - é a irregularidade longitudinal do pavimento (International Roughness Index) no ano t (mm/km);

R_t - é a profundidade média das rodeiras no ano t (mm);

C_t - é a área com fendilhamento e pele de crocodilo no ano t ($m^2/100m^2$);

S_t - é a área com degradação superficial de materiais (covas e peladas) no ano t ($m^2/100m^2$);

P_t - é a área com reparações no ano t ($m^2/100m^2$).

O IQ é um valor que varia no intervalo entre 0 (pavimento em muito mau estado) e 5 (pavimento em muito bom estado), e foi numa primeira aproximação adoptado o valor de 2,0 como indicador da necessidade de intervenção.

Para calcular o IQ pela Equação (1) é necessário estabelecer para cada segmento o valor/área do nível de gravidade de cada tipo de degradação, de acordo com a Tabela 1.

Os parâmetros de estado são identificados por níveis de gravidade, de forma a poderem ser observados e registados pelo VIZIROAD. É excepção a determinação da irregularidade longitudinal que deverá ser traduzida directamente pelo IRI.

Tabela 1 – Área afectada/valor adoptado para os níveis de gravidade parâmetros de estado considerados no cálculo do índice de qualidade global

Degradação	Níveis de Gravidade	Descrição do Nível de Gravidade	Área afectada / valor adoptado
Fendilhamento	Nível 1	Fenda isolada	0,5m × comp. afectado
	Nível 2	Fenda longitudinal significativa, ramificada com eventual perda de agregados (2mm < abertura < 4mm)	2,0m × comprimento afectado
	Nível 3	Fenda longitudinal grave ramificada ou em grelha ligeira com perda de material (abertura > 4 mm) Fenda transversal de qualquer gravidade	Largura do trecho × comprimento afectado
Fendilhamento do tipo pele de crocodilo	Nível 1	Malha com fendilhamento de abertura de pequena dimensão e sem ascensão de finos (abertura < 2mm e malha > 20cm)	Largura do trecho × comprimento afectado
	Nível 2	Malha com fendilhamento de abertura de qualquer dimensão e com perda de material (Fendas com abertura < 2mm e malha < 20cm, ou fendas com abertura entre 2 e 4mm para qualquer tipo de malha, ou fendas com abertura > 4mm e malha > 40cm)	Largura do trecho × comprimento afectado
	Nível 3	Malha com fendilhamento de abertura de grande dimensão com perda de material e ascensão de finos (Fendas com abertura > 4mm e malha < 40cm)	Largura do trecho × comprimento afectado
Peladas, Desagregações superficiais, Exsudação do betume, Polimento dos agregados, Assentamentos localizados	Nível 1	Anomalia com largura < 30cm	0,5m × comprimento afectado
	Nível 2	30cm < Anomalia com largura < 100cm	2,0m × comprimento afectado
	Nível 3	Anomalia com largura > 100cm ou várias anomalias de qualquer largura na mesma secção transversal	Largura do trecho × comprimento afectado

Covas (Ninhos)	Nível 1	Profundidade máxima da cavidade < 2cm	0,5m × comprimento afectado
	Nível 2	2cm < Profundidade máxima da cavidade < 4cm	2,0m × comprimento afectado
	Nível 3	Profundidade máxima da cavidade > 4cm ou várias covas de qualquer largura na mesma secção transversal	Largura do trecho × comprimento afectado
Reparações	Nível 1	Reparações bem executadas	$\frac{1}{4}$ da largura do trecho × comprimento afectado
	Nível 2	Reparações com baixa qualidade de execução ou má elaboração das juntas	$\frac{1}{2}$ da largura do trecho × comprimento afectado
	Nível 3	Reparações mal executadas	Largura do trecho × comprimento afectado
Rodeiras	Nível 1	Profundidade máxima da rodeira < 10mm	10mm
	Nível 2	10mm < Profundidade máxima da rodeira < 25 mm	25 mm
	Nível 3	Profundidade máxima da rodeira > 25 mm	40mm
Irregularidade longitudinal	-	Valor do IRI	IRI (mm/km)
Aderência	-	Valor do SCRIM ou equivalente + mancha de areia	Coefficiente de atrito/IFI/Aa

No caso da primeira campanha realizada de acordo com a presente metodologia (campanha de 2003), durante a qual não foi possível fazer sistematicamente o levantamento do IRI de forma automática e atendendo a que a Equação (1) adoptada para o cálculo do IQ depende daquele valor, decidiu-se quantificar o IRI em função das degradações superficiais (Tabela 1). Estas podem indiciar irregularidade ou desempenho sem margem para dúvida.

Usando o princípio indicado decidiu-se, nas situações de ausência de medição, quantificar o IRI da forma indicada na Figura 3.

Degradação	Condição	Nível	IRI
fendilhamento pele de crocodilo	<=	1	Tipo 1: IRI = 1500 mm/km
e			
peladas, etc.	<=	1	
e			Tipo 2: IRI = 2500 mm/km
rodeiras	<=	1	
fendilhamento pele de crocodilo	=	3	Tipo 3: IRI = 3500 mm/km
ou			
peladas, etc.	=	3	
e			
rodeiras	>=	2	

Figura 3 – Esquema de quantificação do IRI, na ausência de medição directa

Ponderando com as distâncias em que ocorrem os tipos de IRI que as degradações superficiais indicam, de acordo com o definido na Figura 3, é possível encontrar para cada segmento de gestão o valor de IRI a usar, admitindo um arredondamento à unidade do “tipo” ponderado de IRI que se calcula, adoptando seguidamente o valor em mm/km correspondente ao “tipo”.

Quanto à “Aderência”, este parâmetro apenas intervém como “indicador-fusível” baseado no índice IFI (International Friction Index) calculado com os resultados do SCRIM (ou equipamento similar) e da textura superficial (Bennis e De Wit, 2003). Relativamente à definição dos valores de referência de cada classe deste parâmetro, vai ainda ser decidido de acordo com a experiência da administração e o nível de risco que se pretende assumir, o qual depende do tipo de estrada.

Para os pavimentos rígidos, que representam cerca de 1% da rede sob gestão da EP, foi decidido usar um índice global da qualidade baseado num outro conhecido como PCI (Present Condition Index), o qual é determinado de acordo com a norma ASTM D 5340 – 04 (ASTM, 2004). Devido à pequena relevância da extensão deste tipo de pavimentos na rede, não se vai descrever completamente a metodologia, a qual, de qualquer modo, pode ser encontrada na norma ASTM referida.

Um exemplo de exploração do SIG associado à «Base de Dados Rodoviária» no que diz respeito ao IQ (calculado pela Equação 1) é mostrado na Figura 4 para Coimbra. O IQ é representado, na figura original do sistema, em três níveis associados a cores: vermelho (mau) com $IQ < 2$; amarelo (razoável) com $2 \leq IQ < 3,5$ e verde (bom) com $IQ \geq 3,5$.

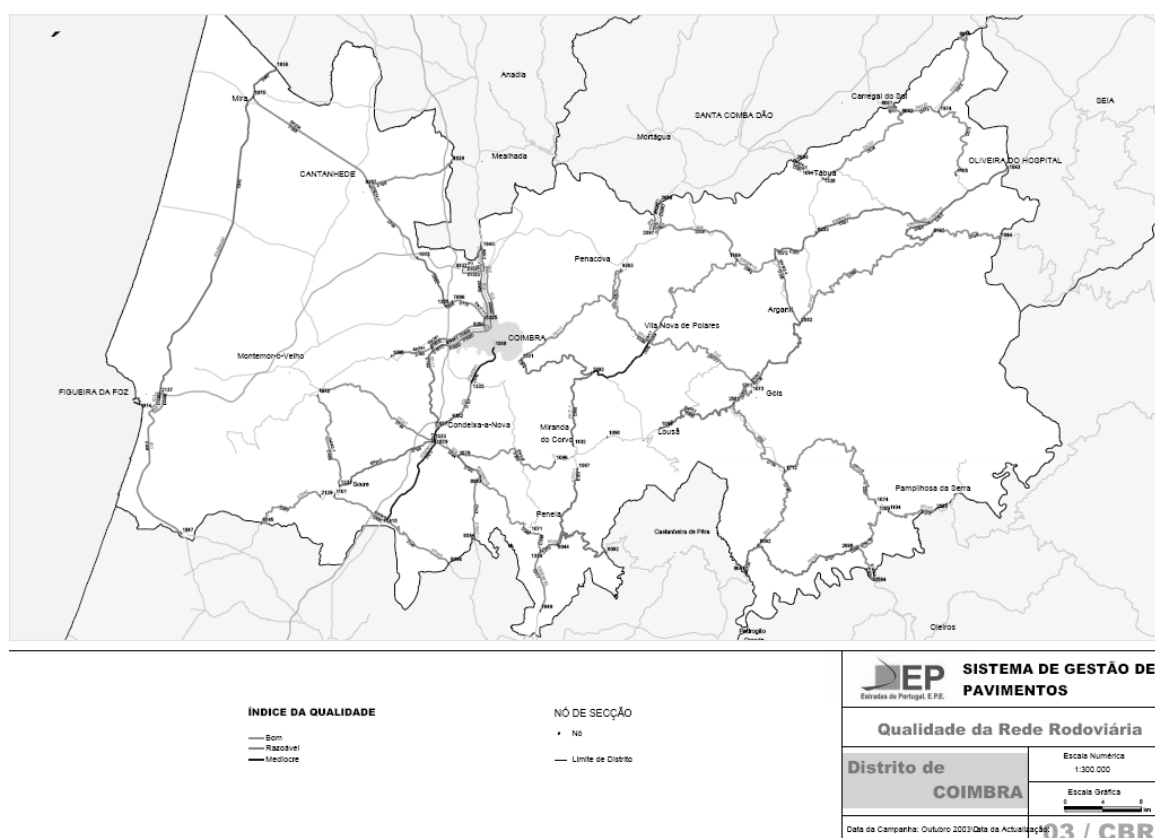


Figura 4 – Representação de IQ para Coimbra

3. AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS

Tendo sempre como referência os pavimentos flexíveis pelas razões já apontadas, para definir as melhores estratégias de aplicação dos recursos usa-se o Sistema de Avaliação de Estratégias (SAE), que é um instrumento de apoio à decisão cuja estrutura se apoiou em desenvolvimentos anteriores efectuados no âmbito da equipa do DEC da UC (Ferreira *et al.*, 2003, Ferreira *et al.*, 2002).

Essencialmente o SAE permitirá definir um programa de conservação multianual para a rede, o qual integrará uma descrição da aplicação multianual dos recursos e uma descrição da evolução do estado dos pavimentos.

O programa de conservação conterá informação sobre os segmentos rodoviários que devem ser conservados, que tipo de acção de conservação deve ser aplicada a cada segmento e quando deve ser executada, de modo a garantir que a rede apresente determinados níveis mínimos de qualidade em cada ano do período de planeamento.

Será discriminada a informação sobre o orçamento anual necessário para executar o programa de conservação, bem como sobre o estado previsível dos pavimentos em cada ano do período de planeamento se for executado o programa de conservação. Todos os resultados poderão ser posteriormente representados na rede, usando o sistema de informação geográfica de suporte.

É de salientar que este SAE é proposto partindo do princípio que a administração tem a possibilidade de gerir da melhor forma os seus recursos financeiros que tem à disposição, nomeadamente através da sua aplicação diferida no tempo, isto é, investir mais em conservação nos anos em que for possível obter maiores benefícios em termos da qualidade da rede. De facto, o SAE permite fazer propostas de intervenção de modo a manter a qualidade da rede acima de um determinado nível, investindo o mínimo em conservação, com orçamentos cujo valor será variável ao longo dos diferentes anos de intervenção. Assim, esta metodologia não é compatível com a existência de orçamentos anuais de valor constante. No entanto, este SAE permite controlar o orçamento total durante o período de planeamento já que se podem baixar os valores dos níveis mínimos da qualidade de modo a diminuir os custos de conservação e assim diminuir os custos totais durante todo o período de planeamento.

O SAE vai utilizar um modelo de optimização (Ferreira *et al.*, 2002), resolvido pela aplicação dum algoritmo genético, que utiliza o modelo determinístico da AASHTO (AASHTO, 1993) de previsão do comportamento dos pavimentos, tendo como objectivo a minimização dos custos na presença de níveis mínimos de qualidade dos segmentos rodoviários.

O SAE permite determinar as consequências da aplicação de uma determinada estratégia de conservação, totalmente definida pelo gestor da rede rodoviária ou apenas corrigida a partir da solução recomendada pelo sistema, para um determinado segmento, para parte dos segmentos, ou para o conjunto de todos os segmentos da rede.

Para ilustrar a estrutura e as funcionalidades do SAE proposto apresentam-se de seguida alguns resultados da aplicação efectuada a um distrito do país (Castelo Branco).

Essencialmente, o modelo determinístico de previsão da evolução do comportamento dos pavimentos tem a seguinte formulação:

$$\log_{10}(N_{80_t}^{Dim}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN_t + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta IQ_t}{4,2 - 1,5}\right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN_t + 1)^{5,19}}} + \quad (2)$$

$$+ 2,32 \times \log_{10}(M_{R_t}) - 8,07$$

$$SN_t = \sum_{n=1}^N H_{nt} \cdot C_n^e \cdot C_n^d \quad (3)$$

$$COV_t = 0,39904 - 0,03871 \cdot IQ_t + 0,00709 \cdot IQ_t^2 - 0,00042 \cdot IQ_t^3 \quad (4)$$

$$V_{T+1} = C_{rehab} \cdot \frac{IQ_{T+1} - 1,0}{IQ_{rehab} - 1,0} \quad (5)$$

$$N_{80_t}^{Dim} = 365 \cdot TMDA_p \cdot \frac{(1+tc)^{Y_t} - 1}{tc} \cdot \alpha \quad (6)$$

Nestas equações:

- $N_{80_t}^{Dim}$ - é o número acumulado de eixos padrão de 80 kN no ano t e na via mais solicitada, desde a construção ou da última reabilitação;
- Z_R - é o desvio padrão;
- S_0 - é o erro padrão combinado relativo à previsão do tráfego e desempenho dos pavimentos;
- SN_t - é o número estrutural do pavimento no ano t e é obtido através da eq. (3);
- ΔIQ_t - é a diferença entre o valor do IQ (designado no modelo original por PSI - *Present Serviceability Index*) no ano da construção ou da última reabilitação e o IQ no ano t ;
- M_R - é o módulo de deformabilidade do solo de fundação;
- H_{nt} - é a espessura da camada n no ano t (cm);
- C_n^e - é o coeficiente estrutural da camada n ;
- C_n^d - é o coeficiente de drenagem da camada n ;
- COV_t - são os custos de operação dos veículos no ano t (€/km/veículo);
- IQ_t - é o índice de qualidade do pavimento no ano t ;
- V_{T+1} - é o valor residual do pavimento no ano $T+1$;
- C_{rehab} - é o custo da última acção de reabilitação aplicada ao pavimento;
- IQ_{T+1} - é o valor do IQ do pavimento no ano $T+1$;
- IQ_{rehab} - é o valor do IQ posterior à aplicação da última acção de reabilitação aplicada ao pavimento;
- $TMDA_p$ - é o tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura ou no ano seguinte à última reabilitação, por sentido e na via mais solicitada;
- tc - é a taxa média de crescimento anual do tráfego pesado;
- Y_t - é a idade do pavimento desde a construção ou da última reabilitação (anos);
- α - é o factor de agressividade do tráfego.

O número estrutural dos pavimentos é calculado através da Equação (3) entrando em consideração com a espessura, o coeficiente estrutural e o coeficiente de drenagem de cada uma das camadas que constituem o pavimento. Para o cálculo do número estrutural foi assumido que os sistemas de drenagem dos pavimentos funcionam bem, pelo que os coeficientes de drenagem assumem o valor 1. Os coeficientes estruturais, que estão directamente relacionados com a capacidade estrutural das camadas, assumem os valores apresentados na Tabela 2 (AASHTO, 1993).

Tabela 2 – Coeficientes estruturais

Material	Descrição	C_n^e /cm
BD	Betão betuminoso em camada de desgaste	0,17323
MBD	Mistura betuminosa densa em camada de regularização	0,17323
MB	Macadame betuminoso em camada de regularização	0,13386
MB	Macadame betuminoso em camada de base	0,13386
BG	Base granular	0,05512
BTC	Base tratada com cimento	0,09055
SBG	Sub-base granular	0,04331

O número estrutural do pavimento, não ocorrendo a aplicação de acções de conservação, sofre um decréscimo de acordo com o seu valor actual do IQ. O cálculo do número estrutural efectivo é efectuado através das Equações (7), (8) e (9).

$$RL = 100 \cdot \left(\frac{IQ - 1,0}{3,9 - 1,0} \right) \quad (7)$$

$$CF = 0,50 + 0,0155 \cdot RL - 0,0002 \cdot (RL)^2 + 0,000001 \cdot (RL)^3 \quad (8)$$

$$SN_{eff} = CF \cdot SN_0 \quad (9)$$

Nestas equações:

RL - é a vida restante do pavimento (%);

IQ - é o índice de qualidade;

CF - é o factor de condição do *SN*.

As intervenções de conservação dos pavimentos que foram adoptadas e os correspondentes custos considerados são apresentados na Tabela 3. Estes custos foram obtidos através da análise das obras ocorridas nos últimos cinco anos em cada distrito, contabilizando o percentil 85% do custo relativo a cada actividade que compõe cada intervenção. Estas também são em cada distrito aquelas que habitualmente são usadas em obras de conservação e reabilitação, embora, em qualquer momento, possam ser consideradas outras, permitindo inovações (reciclagem, por exemplo) ou mudanças de estratégias nas actividades de conservação.

O número estrutural do pavimento, posteriormente à aplicação de uma acção de reabilitação, sofre um acréscimo correspondente à espessura e ao coeficiente estrutural dessa nova camada. Com cada intervenção, quando realizada, o número estrutural melhora de acordo com o que pode ser visto na Tabela 4 (variação do *SN* com as intervenções). Para aplicação da metodologia considerou-se um nível mínimo de qualidade correspondente, nesta fase de apreciação de resultados, a um índice de qualidade (*IQ* = 2).

Com base neste nível mínimo de qualidade, foram definidas as intervenções correctivas de conservação dos pavimentos apresentadas na Tabela 5. Na análise que o SAE efectua, cada intervenção tem como intervenções alternativas todas aquelas que são mais fortes do que ela própria.

Tabela 3 – Intervenções de conservação e os correspondentes custos

Número	Descrição	Custo
1	Não fazer nada	0,00 €/m ²
2	Recuperação das características superficiais	4,14 €/m ²
3	Reforço leve	9,80 €/m ²
4	Reforço médio	15,03 €/m ²
5	Reforço forte	17,03 €/m ²

Tabela 4 – Variação do número estrutural com as intervenções de conservação

Número	Descrição	Δ <i>SN</i>
1	Não fazer nada	0
2	Recuperação das características superficiais	0,17323
3	Reforço leve	1,21261
4	Reforço médio	2,07876
5	Reforço forte	2,55121

Tabela 5 – Activação da aplicação das intervenções de conservação

Índice de qualidade	Intervenção de conservação
$IQ \leq 2,0$	5
$IQ > 2,0$	1

Nos gráficos seguintes, como resultado da aplicação do SAE ao distrito de Castelo Branco já referido, apresentam-se três soluções de conservação dos pavimentos.

A primeira solução, designada por solução inicial, é definida apenas pelo nível mínimo de qualidade (NMQ) em termos de IQ. Isto significa que quando um determinado pavimento atinge um valor de IQ de 2,0 é activada uma determinada intervenção correctiva de conservação. Esta solução é definida com base numa política correctiva das patologias dos pavimentos e não numa política preventiva.

A segunda solução, designada por solução final optimizada pela minimização dos custos de conservação, tem como objectivo minimizar os custos de conservação dos pavimentos de toda a rede rodoviária durante o período de análise de 10 anos, que foi o período considerado.

A terceira solução, designada por solução final optimizada pela minimização dos custos totais, é determinada pelo SAE considerando, além dos custos de conservação, também um modelo que traduz os custos (sobretudo de uso e de operação dos veículos, nesta primeira fase) que podem ser atribuídos aos utentes (custo de utentes) e o valor residual dos pavimentos, que entra como valor negativo em termos de custos já que é uma mais-valia económica no fim do período de planeamento (quanto maior for o valor residual menores encargos com a conservação são transmitidos ao período seguinte). Sucintamente, a contabilização dos custos de utentes é uma adaptação dum modelo japonês (Shoji *et al.*, 1998) que é função do IQ, sendo o custo por km e veículo igual ao custo que o estado português paga por km a um veículo privado, quando o IQ é o mínimo admitido para não haver intervenção de conservação. O valor residual também é uma função do IQ, aumentando com este. Para as três soluções de conservação referidas limitaram-se a duas as intervenções possíveis de efectuar nos 10 anos do período de planeamento.

Com o objectivo de se mostrarem os resultados foram escolhidos dois segmentos rodoviários tendo em conta dois estados de conservação diferentes no ano inicial. Na Tabela 6 apresentam-se os atributos desses dois segmentos rodoviários.

Tabela 6 – Atributos dos segmentos de gestão

Atributos	Segmentos de gestão	
Segmento_ID	05003	05001
Classe_segmento	IC	IP
Tipo_pavimento	Flexível	Flexível
Direcção_estradas	Castelo Branco	Castelo Branco
Comprimento (m)	14635	1931
Largura (m)	8,55	9,40
CBR_leito_pavimento (%)	4	6
Número_estrutural	4,40	5,20
Ano_construção_ou_última_reabilitação	1995	2001
Idade (anos)	10	4
TMDA	5838	4331
TMDA_pesados	800	300
Taxa_crescimento (%)	4	3
Factor_agressividade_tráfego	4,5	3,0
IQ	2,15	3,81

Na Tabela 7 estão representadas as intervenções de conservação a aplicar nos dois segmentos rodoviários referidos anteriormente, para cada uma das estratégias de conservação referidas. Na Figura 5 está representada a evolução do índice IQ ao longo dos anos para o segmento de gestão número 05003 pertencente ao IC8. Na Figura 6 está representada a mesma evolução para o segmento de gestão número 05001 pertencente ao IP2. Note-se que nestas figuras o ano 10 corresponde ao 11º do período de planeamento e, portanto, não é levado em conta na análise pelo SAE.

Tabela 7 – Intervenções de conservação para o período de análise de 10 anos

Intervenções definidas apenas pelo NMQ											
Segmento	IQ	Ano									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
05003	2,15	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
05001	3,81	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Intervenções definidas pela minimização dos custos de conservação											
Segmento	IQ	Ano									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
05003	2,15	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
05001	3,81	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Intervenções definidas pela minimização dos custos totais											
Segmento	IQ	Ano									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
05003	2,15	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1
05001	3,81	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1

Legenda (intervenções): 1 - Não fazer nada; 2 - Recuperação das características superficiais;
3 – Reforço leve; 4 – Reforço médio; 5 – Reforço forte

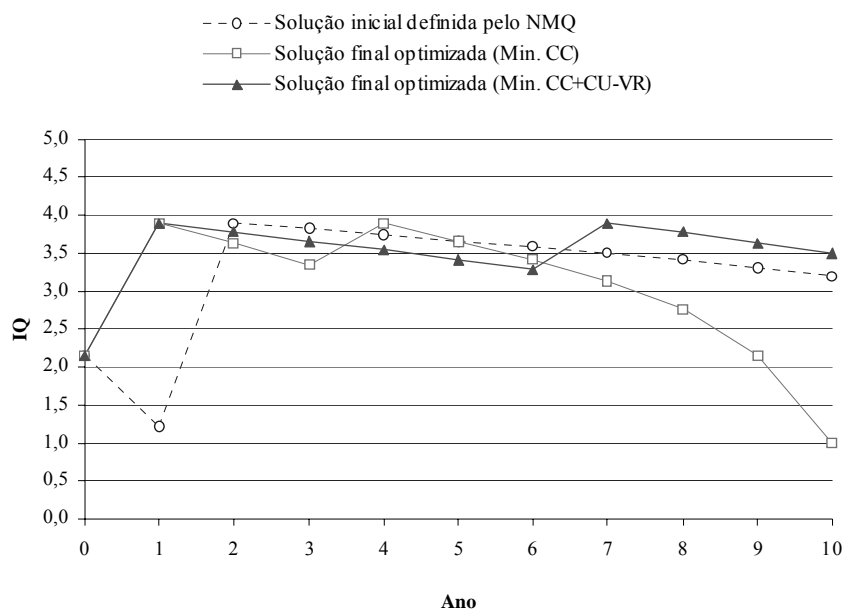


Figura 5 – Evolução do IQ para o segmento de gestão 05003

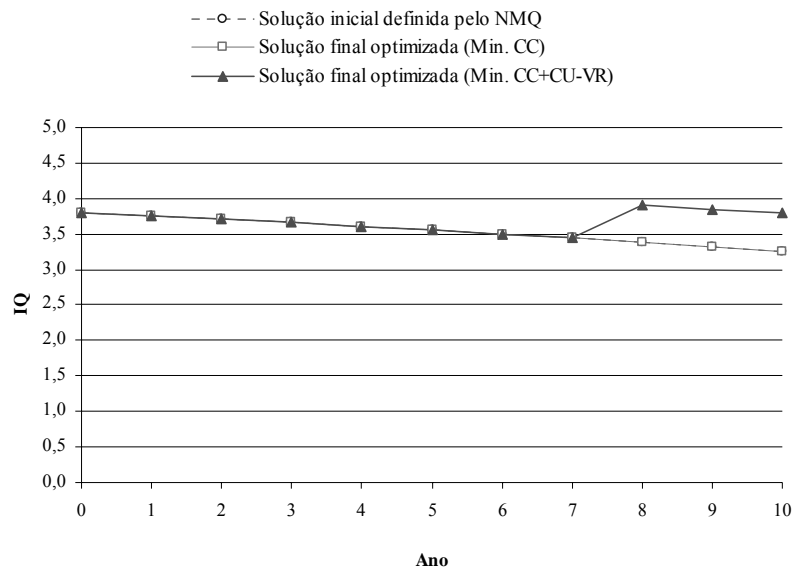


Figura 6 – Evolução do IQ para o segmento de gestão 05001

Para o primeiro segmento de gestão (IQ=2,15), considerando a solução inicial, aparece a intervenção 5 (reforço forte) logo no ano 1 correspondendo a uma intervenção correctiva devido ao IQ, nesse ano, atingir um valor inferior a 2,0 (Tabela 7 e Figura 5) e como não baixa do NMQ (IQ = 2,0) nos anos seguintes não é indicada mais nenhuma intervenção. Considerando a solução final otimizada pela minimização dos custos de conservação, aparece a intervenção 2 (recuperação das características superficiais) logo no ano 0 e também no ano 3, correspondendo a duas intervenções preventivas (Tabela 7 e Figura 5), que são a melhor solução para gastar o menos possível mantendo o critério de qualidade. Considerando a solução final otimizada pela minimização dos custos totais, aparece a intervenção 3 (reforço leve) no ano 0 e a intervenção 2 no ano 6, correspondendo também a duas intervenções preventivas mas, neste caso, já levando em conta a minimização do custo de utentes e a valorização final do pavimento pela consideração do valor residual, pelo que o sistema opta por ter a melhor qualidade possível para “servir” aquelas duas parcelas dos custos durante o maior período possível, fazendo-o com as duas intervenções que são as menos dispendiosas para cumprir o objectivo.

Para o segmento de gestão número 05001 (IQ=3,81), considerando a solução inicial, não é necessário intervir no pavimento durante todo o período de análise (Tabela 7 e Figura 6), o mesmo acontecendo para a solução final otimizada pela minimização dos custos de conservação. Isto acontece porque de acordo com a degradação inferida pela aplicação da abordagem AASHTO não se atinge, em ambos os casos o NMQ. Já considerando a solução final otimizada pela minimização dos custos totais, aparece a intervenção 2 (recuperação das características superficiais) no ano 7, correspondendo a uma intervenção preventiva que faz com que o IQ seja sempre bastante elevado durante todos os anos do período de análise, como se entende pelo que já se referiu a propósito do segmento de gestão anterior.

Quanto a custos finais, podem ver-se na Tabela 8 os valores dos custos de conservação, dos custos para os utentes e do valor residual dos pavimentos para cada estratégia e segmento de gestão. Admitindo só a análise do ponto de vista de custos de conservação, a segunda estratégia (minimização desse tipo de custos) apresenta, naturalmente, menores custos de conservação. Considerando a totalidade dos custos, somando os de utentes e subtraindo o valor residual, verifica-se (Figura 7) que a melhor estratégia é aquela que se preocupa com esses aspectos logo na análise, também como é natural.

Tabela 8 – Custos para o período de análise de 10 anos

Intervenções definidas apenas pelo NMQ				
Segmento	IQ	Custos de conservação	Custos para os utentes	Valor residual
05003	2,15	2130951,1	130262599,6	1614254,6
05001	3,81	0,0	11978355,4	239032,7

Intervenções definidas pela minimização dos custos de conservação				
Segmento	IQ	Custos de conservação	Custos para os utentes	Valor residual
05003	2,15	1036070,2	131496251,0	0,0
05001	3,81	0,0	11978355,4	239032,7

Intervenções definidas pela minimização dos custos totais				
Segmento	IQ	Custos de conservação	Custos para os utentes	Valor residual
05003	2,15	1744301,7	129351342,6	1843182,8
05001	3,81	75146,8	11956260,4	297843,2

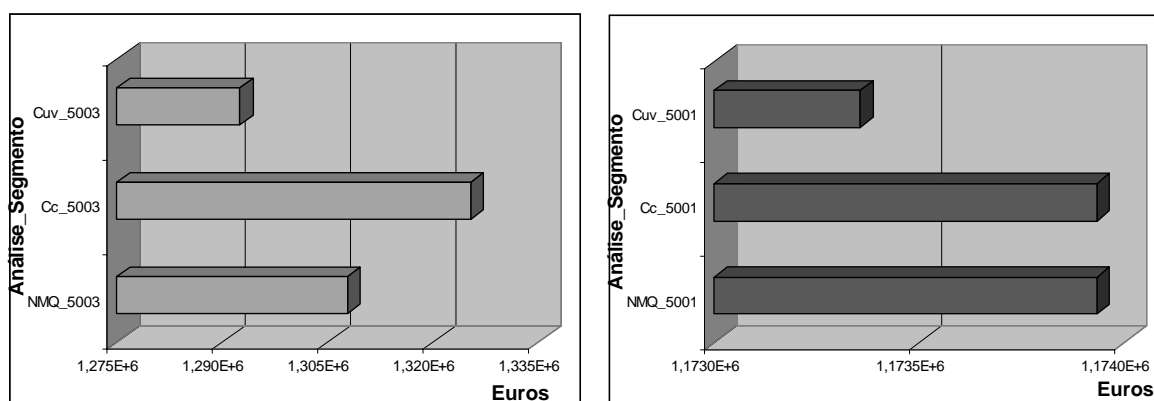


Figura 7 – Custos totais para as três estratégias analisadas e para os dois segmentos

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema que se pretende ver implementado no início de 2006, depois de ligar a programação da conservação ao sistema de informação geográfica para efeitos de apresentação dos relatórios, vai permitir que a gestão dos processos conducentes à conservação da rede sob jurisdição directa da administração nacional portuguesa sejam mais preventivos do que reactivos, o que não tem acontecido até ao momento.

A possibilidade de agora poder aplicar de forma mais efectiva a intervenção certa, no momento certo, no devido segmento de gestão, é de facto a grande vantagem do sistema que se apresentou.

Para melhorar a sua eficácia, a administração está sensibilizada para melhorar a qualidade do levantamento dos parâmetros de estado fundamentais (o IRI, as rodeiras e o IFI) relativos ao pavimento, nomeadamente através da realização de levantamentos mecânicos desses parâmetros. Isto permitirá um melhor ajuste do modelo de previsão usado à realidade portuguesa e, pensa-se que será suficiente para poder encontrar um modelo de previsão da evolução desses parâmetros bem ajustado a essa realidade.

REFERÊNCIAS

- AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, USA (1993).
- ASTM, Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys, ASTM International, Standard D 5340 – 04, West Conshohocken (2004).
- Bennis, T.-A. and De Wit, L.-B., Evaluation of Investigations into the Application of the IFI (International Friction Index), *Routes/Roads*, 318, 35-51 (2003).
- Ferreira, A., Picado-Santos, L. and Antunes, A., A Segment-Linked Optimisation Model for Deterministic Pavement Management Systems, *The International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 3 (2), pp. 95-105 (2002).
- Ferreira, A., Picado-Santos, L., Antunes, A. and Pereira, P., A Deterministic Optimisation Model Proposed for the Lisbon's PMS, *Proceedings of the Third International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control*, Ed. Pereira, P. and Branco, F. (eds.), pp. 555-564, Guimarães, Portugal (2003).
- HRB, The AASHTO road test. Report 5 - Pavement Research, Special Report 61E, Highway Research Board, National Academy of Sciences (1962).
- ORACLE, <http://www.oracle.com/index.html> (2005).
- Picado-Santos, L., Ferreira, A., Antunes, A., Carvalheira, C., Santos, B., Bicho, H., Quadrado, I., Silvestre, S., The Pavement Management System for Lisbon, ICE-Municipal Engineer, *Journal of Institution of Civil Engineers*, Vol. 157, nº ME3, pp. 157-166 (2004a).
- Picado-Santos, L., Pereira, P., Matos, J., Azevedo, A., The IEP Pavement Management System: Initial Activities and Planned Developments, *Proceedings of the 2nd European Pavement and Asset Management Conference*, CD edition – S3_103, Berlin (2004b).
- Picado-Santos, L., Pereira, P. e Ferreira, A., Sistema de Gestão de Pavimentos: estrutura e funcionalidades. Relatório 2/2003_SGP-IEP, DEC-FCT, Universidade de Coimbra, Portugal (2003).
- Picado-Santos, L., Sistema de Gestão de Pavimentos: notas iniciais. Relatório 1/2003_SGP-IEP, DEC-FCT, Universidade de Coimbra, Portugal (2003).
- Sebaaly, P. E., Hand, A., Epps, J. and Bosch, C., Nevada's Approach to Pavement Management, *Transportation Research Record*, Vol. 1524, 109-117 (1996).
- Shoji, E., Júnior, J. and Fukuda, T., Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos ao Nível da Rede para a Cidade de Sendai – Japão, *Actas do XII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, pp. 197-207 (1998).